HAL
open science

Diffusion acoustique d'un moyeu et d'une pale

Nicolas Cité, Farid Chati, Fernand Léon, Gerard Maze, Hendrik Naar, Aleksander Klauson

To cite this version:

Nicolas Cité, Farid Chati, Fernand Léon, Gerard Maze, Hendrik Naar, et al.. Diffusion acoustique d'un moyeu et d'une pale. 10ème Congrès Français d'Acoustique, Apr 2010, Lyon, France. hal-00537192

HAL Id: hal-00537192

https://hal.science/hal-00537192v1

Submitted on 20 Nov 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

10ème Congrès Français d'Acoustique
Lyon, 12-16 Avril 2010

Diffusion acoustique d'un moyeu et d'une pale

Nicolas Cité[1], Farid Chati[1], Fernand Léon[1], Gérard Maze[1], Hendrik Naar[2], Aleksander Klauson[2]
[1]Laboratoire Ondes et Milieux Complexes du Havre, LOMC FRE CNRS 3102,
Université du Havre, Place Robert Schuman BP 4006 76610 Le Havre (France)
[2] Department of Mechanics,
Tallinn University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn (Estonie)

Dans le cadre de l'étude acoustique des défauts d'hydroliennes, nous avons mis en œuvre des procédés expérimentaux dans l'air. En effet, grâce à ces procédés nous avons étudié l'interaction entre les différentes structures reliées entre elles par une soudure et plus particulièrement l'interaction entre un moyeu cylindrique quasi-plein (rb/ra=0,2 avec rb rayon interne et ra rayon externe) et une pale de forme rectangulaire. Cette étude nous a conduits à étudier, par diffusion acoustique, le comportement résonnant des différentes structures seules puis le moyeu associé à la pale. Ainsi, nous avons pu mettre en évidence l'impact des structures sur les spectres et expliquer de manière expérimentale l'influence de la propagation des différentes ondes dans la structure.

1 Introduction

Le contexte environnemental et économique pousse de nombreux pays à développer de nouveaux systèmes de production d'énergies renouvelables. Parmi ceux-ci, figurent les hydroliennes. L'hydrolienne est constituée, entre autres, d'une hélice qui est mis en mouvement par un courant marin et d'un support dans lequel est placée une génératrice électrique. L'hélice est donc un élément essentiel de ce système. Celle-ci est soumise à des contraintes liées à l'environnement. Des défauts peuvent se former comme des fissures ou des dépôts de concrétion. Le contrôle de cette hélice dans l'eau s'avère donc primordiale afin d'anticiper une altération pouvant être irrémédiable. Le contrôle par ultrasons est un moyen peu onéreux pour détecter ces éventuels défauts, et donc de planifier les opérations de maintenance.

2 Géométrie de l'objet étudié

Notre étude acoustique s'est portée sur une hélice simplifiée, afin de faciliter nos analyses. Cette hélice se compose d'un moyeu et de plaques rectangulaires modélisant des pales. Leur disposition angulaire varie selon le nombre (p) de pales, mais respecte une périodicité donnée et définie par la relation $2\pi/p$. Néanmoins, dans cet article, nous présentons nos premiers résultats numériques et expérimentaux pour une structure composée d'un moyeu et d'une plaque rectangulaire afin de comprendre les mécanismes de couplages mécaniques entre les deux sous-structures. Nous avons fabriqué un moyeu constitué d'un cylindre limité en acier inoxydable de 30 mm de diamètre et de 25 mm de longueur (Fig.1), percé en un centre par un trou de diamètre égale à 6 mm. Sur ce moyeu nous avons soudé une pale sous la forme de plaque d'acier inoxydable de 35 mm de longueur sur 15 mm de largeur et 1,5 mm d'épaisseur. Cette pale est soudée le long d'une génératrice du moyeu.

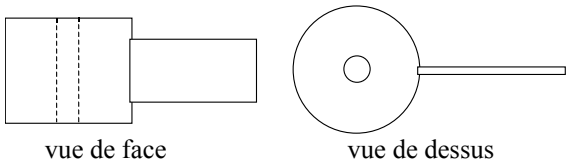

Figure 1 : géométrie de l'objet

3 Etude acoustique

Afin d'analyser le comportement résonnant de cette structure composée de deux objets simples soudés entre eux, il s'avère nécessaire d'isoler les résonances. Or, l'immersion dans l'eau de cette structure atténue les ondes se propageant dans celle-ci. Les modes de résonances observées sont peu nombreux. Le choix a été fait, dans un premier temps, de considérer expérimentalement la structure placée dans l'air, les modes de résonances étant alors plus nombreux.

Notre problème n'ayant pas de solution analytique simple, nous avons utilisé un logiciel d'analyse numérique (ANSYS), basé sur une méthode de calcul par éléments finis. La formulation variationnelle du problème à résoudre est discrétisée, puis la solution est calculée en tenant compte des conditions aux limites. En conséquence, le calcul est réduit à la détermination des solutions en des points particuliers de l'ensemble discrétisé, structure et milieu environnant, appelés « noeuds ». Le nombre de nœuds pour la structure immergée dans l'eau est relativement important dans une modélisation 3D, ce qui implique un temps de calcul considérable et une place mémoire importante. Afin d'obtenir des résultats dans une gamme de fréquence fixée en un temps « raisonnable », les calculs ont été réalisés en plaçant la structure dans le vide.

Sachant que, dans l'étude expérimentale, la densité de l'air est relativement faible, les résultats expérimentaux peuvent être comparés aux résultats numériques obtenus en considérant la structure dans le vide.

3.1 Mise en œuvre expérimentale

La mise en œuvre expérimentale est décrite en détail dans les références [1] et [2]. Nous utilisons un pot vibrant comme source d'excitation ponctuelle ultrasonore et la réponse vibratoire de la structure est obtenue à l'aide de la configuration expérimentale décrite sur la figure 2. Un microphone Brüel & Kjaer type 2670 caractérisé par sa bande passante 0-100kHz permet de mesurer le signal rayonné par la structure. Après amplification, un signal temporel est observé sur l'écran de l'oscilloscope numérique (Fig.3). L'excitation correspondant à un choc bref, le signal reçu par le microphone est constitué par un premier écho relatif à l'excitation, suivi par une suite d'échos relatifs aux ondes se propageant dans la structure. Le signal observé est sauvegardé et traité sur un ordinateur. L'application d'une FFT sur la réponse résonante de la structure permet d'obtenir un spectre de résonances (Fig.4).

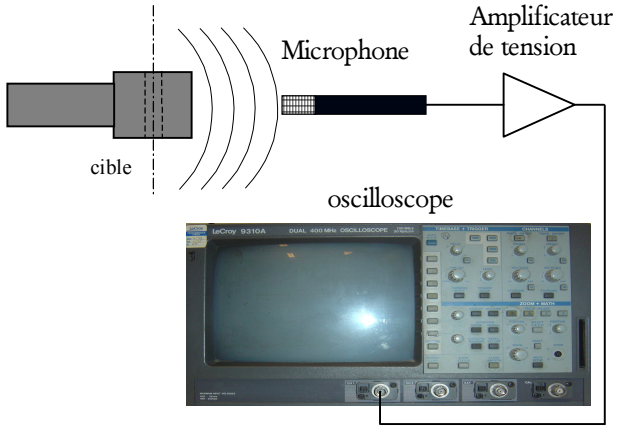

Figure 2 : schéma du montage dans l'air

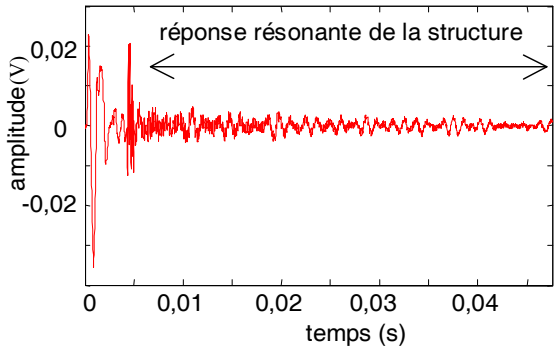

Figure 3 : réponse temporelle de l'objet

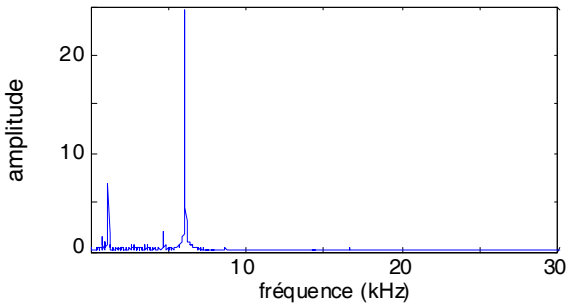

Figure 4 : spectre de résonances
(choc bref sur le moyeu et microphone placé au plus près et perpendiculairement à la plaque rectangulaire)

Le microphone est placé au plus près de la structure (1 mm), soit perpendiculairement à la surface de la plaque rectangulaire, soit perpendiculairement à la surface cylindrique du moyeu. Ainsi le microphone est sensible aux déplacements normaux à la surface de la cible. Le choix de la position de l'écoute, ainsi que la localisation de l'impact (plaque ou moyeu) favorise l'observation de certaines resonances. Cela se traduit sur les spectres de resonances par une amplitude de pics plus ou moins importante et variant selon les modes d'excitation et d'écoute choisis (Fig.4 et Fig.7 : pics de fréquence équivalente mais d'amplitude différente).

3.2 Traitements des résultats obtenus

Pour étudier la réponse résonnante de la cible, il est nécessaire de réaliser une acquisition du signal temporel sur l'oscilloscope et d'appliquer la Transformée de Fourier Rapide (FFT) sous Matlab. Cette transformée n'est pas effectuée sur la totalité du signal. En effet, comme le montre la figure 3, nous supprimons l'écho direct lié au choc de la cible et ne gardons que la partie du signal liée à la diffusion des modes de vibrations.

3.3 Résultats expérimentaux

Des mesures expérimentales ont été effectuées sous diverses conditions afin d'étudier le comportement résonnant du moyeu seul et celui de la structure (plaque et moyeu).

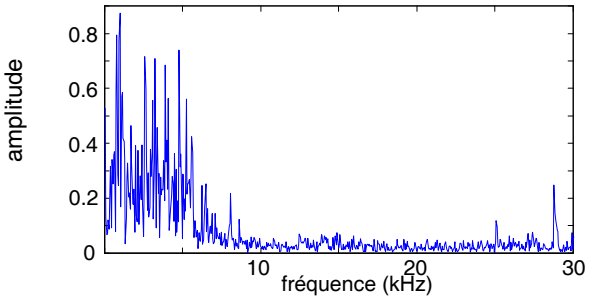

Figure 5 : spectre du moyeu seul

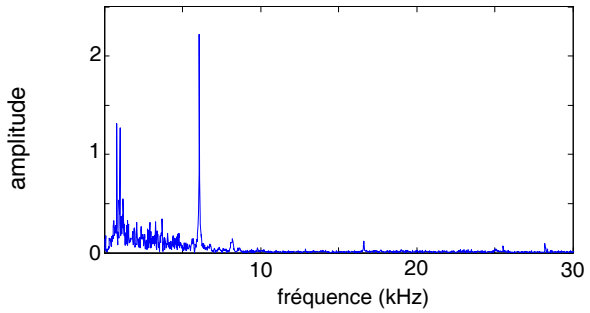

Figure 6 : spectre avec écoute sur le moyeu et excitation sur le moyeu

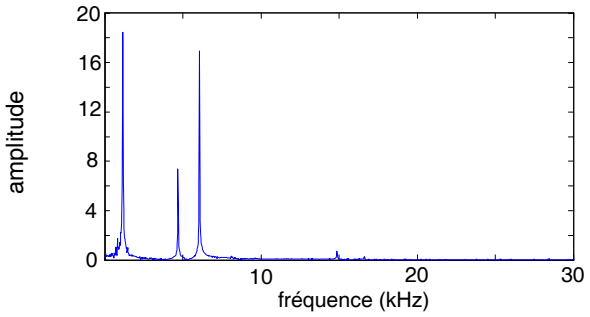

Figure 7 : spectre avec écoute sur la plaque et excitation sur la plaque

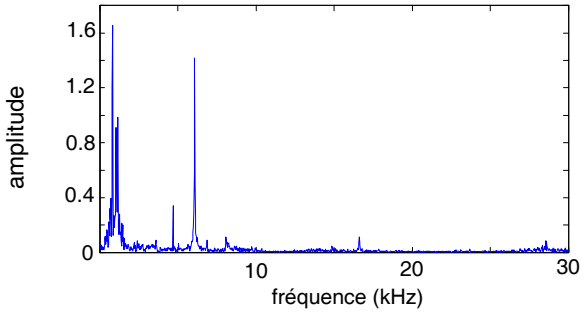

Figure 8 : spectre avec écoute sur le moyeu et excitation sur la plaque

Il apparait que selon la position de l'écoute et la localisation de l'impact (moyeu ou plaque), nous avons des résultats qui sont plus ou moins différents. En effet, lorsque nous observons les figures 6 et 7, nous constatons des résonances communes situées à 1 kHz et 6,1 kHz. Néanmoins, en basse fréquence des différences apparaissent. Sur la figure 6 (excitation et écoute du moyeu), des pics de faible amplitude sont présents dans la gamme de fréquence 0-5 kHz. Or ceux–ci ne sont pas visibles sur la figure 7 (excitation et écoute de la plaque). Ces pics sont dus à la réponse du moyeu comme le montre la figure 5 pour un moyeu seul, l'excitation de celui-ci et son écoute font apparaître ces pics dans la même gamme de fréquence. Nous remarquons ainsi que l'excitation d'une sous-structure permet d'observer les modes de cette sous-structure. En outre, en comparant les figures 7 et 8 caractérisées par l'excitation de la plaque, des différences sont notées en basse fréquence (0-2 kHz). Sur la figure 8, ces différences sont attribuables à des résonances du moyeu. La présence de ces pics montre que les ondes élastiques se transmettent d'une sous-structure (plaque) à l'autre (moyeu) et forment, à des fréquences de résonances, des résonances propres à l'autre sous-structure (moyeu).

Néanmoins, les choix de la position de l'écoute et de la localisation de l'impact ne permettent pas de dire à la vue des résultats expérimentaux, si les résonances sont attribuables à une sous-structure ou à la structure dans son ensemble. C'est le cas des pics situés aux fréquences égales à 1 kHz, 4,5 kHz et 6,1 kHz présents sur les figures 4, 7 et 8. L'analyse numérique suivante permet de répondre à cette indétermination.

3.4 Résultats numériques

A l'aide d'un logiciel de calculs par éléments finis (Ansys), nous modélisons tout d'abord la plaque seule puis la structure dans son ensemble c'est-à-dire le moyeu associé à la plaque. Nous relevons alors le déplacement normal sur chacune des sous-structures en excitant soit le moyeu soit la plaque afin de les comparer avec les résultats expérimentaux.

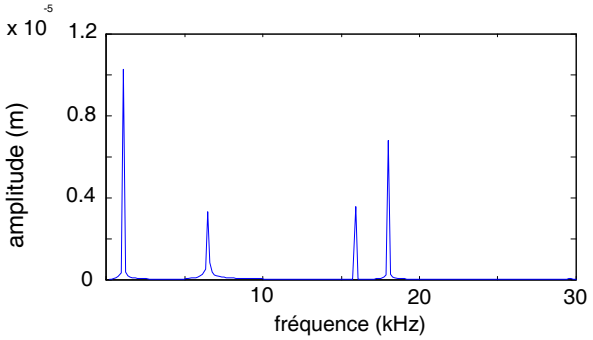

Figure 9 : déplacements normaux de la plaque seule

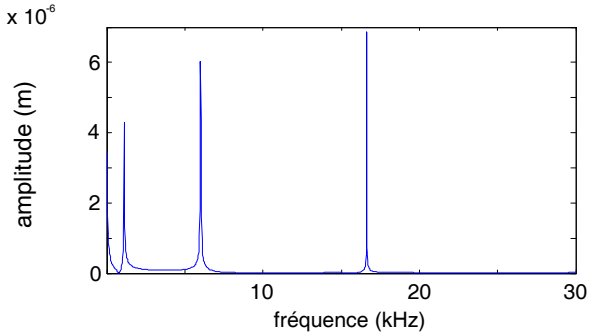

Figure 10 : déplacements normaux de la plaque avec excitation sur la plaque

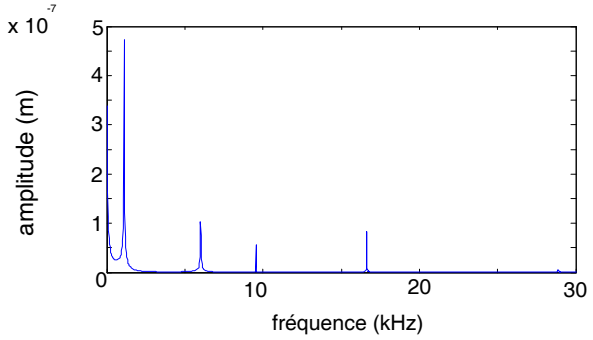

Figure 11 : déplacements normaux du moyeu avec excitation sur la plaque

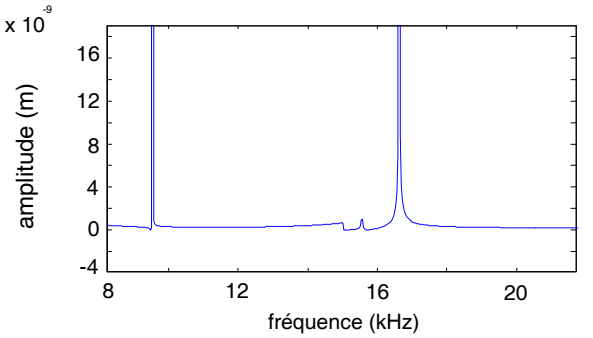

Figure 12 : zoom déplacements normaux du moyeu avec excitation sur la plaque

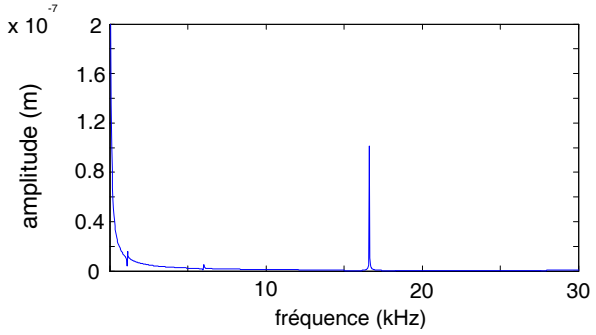

Figure 13 : déplacements normaux du moyeu avec excitation sur le moyeu

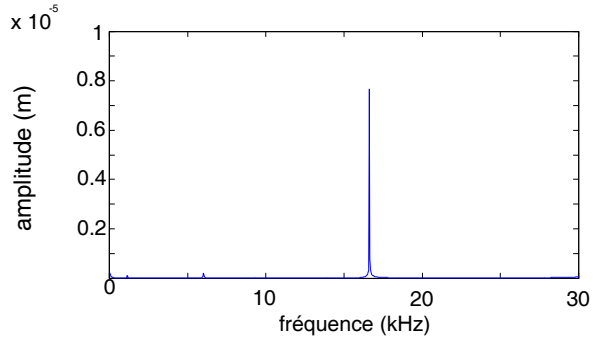

Figure 14 : déplacements normaux de la plaque avec excitation sur le moyeu

Comme pour les résultats expérimentaux, nous notons que l'excitation et le point de mesure jouent un rôle primordial. En effet, en comparant le spectre de la plaque seule (Fig.9) avec celui de la structure (Fig.10, plaque excitée), nous retrouvons trois résonances similaires situées à 1kHz, 6.5kHz et 17kHz. Ainsi les modes de plaque sont retrouvés sur les spectres de la structure. Nous pouvons donc confirmer que l'excitation d'une sous-structure permet l'observation des modes de cette sous-structure. De la même manière, selon que le point de mesure est sur la plaque (Fig.10 et Fig.14) ou sur le moyeu (Fig. 11, Fig.12 et Fig.13), nous remarquons que les amplitudes des résonances varient. Les résonances mesurées dépendent donc du point de mesure.

Malgré des différences entre les spectres, nous retrouvons des modes qui semblent être similaires pour toutes les figures, ce qui confirme la transmission des ondes élastiques d'une sous-structure à une autre. En effet, les figures 13 et 14 possèdent les trois mêmes résonances liées la plaque (Fig. 10).

Enfin, d'après la figure 11, la présence d'un mode situé à 9 kHz semblant n'appartenir à aucune des deux sous-structures nous laisse penser qu'il existe aussi des résonances de structure.

3.5 Calculs analytiques de la plaque

En se basant sur la théorie de l'élasticité, nous calculons les modes de Lamb d'une plaque avec, pour conditions limites, le fait qu'elle soit libre d'un côté et encastrée de l'autre. Or d'après la référence [3], nous savons que les ondes antisymétriques A0 et symétriques S0 vérifient les équations :

Ondes antisymétriques

$$(k^2+s^2)^2 \mathrm{sh}(qd).\mathrm{ch}(sd) - 4k^2 qs.\mathrm{sh}(sd).\mathrm{ch}(qd) = 0 \quad (1)$$

Ondes symétriques

$$(k^2+s^2)^2 \mathrm{ch}(qd).\mathrm{sh}(sd) - 4k^2 qs.\mathrm{ch}(sd).\mathrm{sh}(qd) = 0 \quad (2)$$

Soit a la longueur de la plaque et b sa largeur.
Les bords de b sont libres, nous pouvons écrire que sur sa largeur nous avons un nombre entier de demi-longueurs d'onde $b = n_x \frac{\lambda_x}{2}$. De la même façon, sur la longueur a nous avons un côté bloqué donc nous avons un nombre impair de quart de longueur d'onde $a = (2n_y+1)\frac{\lambda_y}{4}$.

Avec $\lambda = \frac{2\pi F}{C_{A0/S0}}$ d'où :

$$\left(\frac{2\pi F}{C_{A0/S0}}\right)^2 = \left(\frac{n_x \pi}{2b}\right)^2 + \left(\frac{(2n_y+1)\pi}{2a}\right)^2$$

On obtient $C_{A0/S0} = \dfrac{2F}{\sqrt{\dfrac{n_x^2}{b^2} + \dfrac{(2n_y+1)^2}{(2a)^2}}}$

On cherche les ondes A0 ou S0 vérifiant (1) ou (2) et dont leurs vitesses $C_L = C_{A0/S0}$.
On obtient les tableaux suivants :

nx\ny	0	1	2	3
0	730	6540	17945	34545
1	16375	21995	33035	49135

table 1 : calcul des modes de l'onde A0 pour la plaque bloquée-libre (en Hz)

nx\ny	0
0	37400

table 2 : calcul des modes de l'onde S0 pour la plaque bloquée-libre (en Hz)

4 Interprétations

Tout d'abord, lorsque nous comparons l'ensemble des résultats expérimentaux, nous observons la présence de résonances communes. Celles-ci sont plus ou moins prononcées selon la partie de la structure excitée. En effet, comme nous avons pu le supposer auparavant, le fait d'exciter la plaque favorise les modes de résonances de celle-ci et inversement lorsque le moyeu est excité, ce sont ses modes qui sont favorisés.
A l'aide des résultats expérimentaux, de l'analyse numérique et des calculs analytiques nous pouvons identifier trois groupes de résonances :

- Les résonances de la plaque
- Les résonances du moyeu
- Les résonances de la structure

Dans un premier temps, intéressons nous aux modes résonnants de la plaque. Les calculs analytiques (tableau 1)

et numériques (Fig.10) nous montrent que les résonances obtenues expérimentalement sur les figures 7 et 8, situées autour de 1 kHz, 6,1 kHz et 17 kHz sont les modes (0,0), (0,1) et (0,2) de l'onde A0 de la plaque. Nous notons d'après la figure 7, que le mode (0,1) est situé à 6,1 kHz alors que d'après la figure 9 et le tableau 1, ce mode est situé à 6,5 kHz. Nous remarquons ainsi des différences entre les résultats numériques, analytiques et expérimentaux. Ces quelques différences sont, sans aucun doute, liées aux valeurs des paramètres du matériau (densité, module de Young) retenues pour les différents modèles. Ces valeurs peuvent légèrement différer des paramètres de notre objet et ainsi donner des valeurs de résonances légèrement différentes. De plus, le mode (0,2) situé à 18 kHz sur la figure 9 est passé à 17 kHz sur les figures 10, 11, 12,13 et 14, la présence du moyeu fait donc baisser les valeurs des fréquences de résonance de la plaque soudée par rapport aux valeurs de la plaque seule. En analysant les modes de plaques excités sur la figure 10, nous remarquons que ce sont des modes de flexions purs qui sont excités.

Nous pouvons également noter expérimentalement (Fig.6 et Fig.8) et numériquement (Fig.11 et Fig.13) que la plaque résonne aussi par l'intermédiaire du moyeu et qu'elle « transmet » ses ondes élastiques au moyeu d'où la présence de résonances de plaque lorsque le moyeu est excité. Inversement, lorsque la plaque est excitée le moyeu répond à l'excitation et « transmet » à son tour ses ondes élastiques à la plaque (Fig.5 et Fig. 6).

Afin d'identifier les résonances du moyeu, des calculs du déplacement normal du moyeu seul ont été effectués sous Ansys et également par la théorie de l'élasticité. Ainsi dans la gamme considérée (0-30 kHz), aucune résonance n'a pu être isolée. Nous n'avons, pour l'instant, pas trouvé d'explications à la présence de résonances du moyeu sur les relevés expérimentaux (Fig.5).

Enfin, nous constatons expérimentalement et numériquement qu'il existe une résonance supplémentaire liée à l'association des deux sous-structures (Fig .7 et Fig. 11).

5 Conclusion

Nous avons vu au travers de nos travaux, que le comportement résonnant de la structure était dépendant du comportement résonnant des sous-structures qui la constitue mais faisait apparaître en plus des résonances dû à l'association des deux sous-structures. Cette dépendance à chaque sous-structure s'appuie sur un phénomène de transmission des ondes élastiques d'une sous-structure à une autre alors que les résonances supplémentaires résultent d'un comportement propre à la structure.

Enfin, dans la suite de nos travaux, nous nous intéresserons à l'ajout de pales supplémentaires sur le spectre de résonances de la structure et expliquerons les phénomènes de résonances de structures.

Références

[1] Lanfranchi J., "Etudes des résonances d'objets à symétrie cyclique : Modes propres d'une hélice de navire", Thèse Université du Havre (1998)

[2] Décultot D., Chati F., Maze G., Klauson A., "Experimental identification of very low frequency flexural vibration modes of partly submerged plate", ICA 19th congress on acoustics Madrid 2007

[3] Viktorov I. A., "Rayleigh and Lamb Waves", Plenum Press, New York, (1967)